

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

発明の名称

Solid Immersion Lens and Sample Observation Method Using It
固浸レンズ、及びそれを用いた試料観察方法

発明の背景5 発明の分野

【0001】 本発明は、固浸レンズを用いて試料を観察する観察方法、及び固浸レンズに関するものである。

関連する背景技術

10 【0002】 観察対象となる試料からの光像を拡大するレンズとして、固浸レンズ（SIL: Solid Immersion Lens）が知られている。SILは、半球形状、またはワイエルストラス球と呼ばれる超半球形状のレンズである。このSILを試料の表面に密着させて設置すれば、試料観察における開口数NA及び倍率とともに拡大することができ、高い空間分解能での観察が可能となる（特公平7-18806号公報、及び特開2002-189000号公報参照）。

15 発明の概要

【0003】 SILでは、上記した半球形状または超半球形状の構成、及びそれに対応して設定される試料観察面において、球面収差及びコマ収差を生じないアプラナティックな結像が得られることが知られている。しかしながら、このようなSILの構成及び使用条件では、収差がなくなる位置はいずれも1点のみで
20 あり、したがって、SILの用途は光ピックアップなどに限られている。

【0004】 すなわち、上記したSILで用いられている試料観察面では、広い範囲で試料を観察しようとする、像面特性が良くない。このため、SILを用いて試料の像を観察しようとする、得られる像ではその周辺部で中央部に比べて分解能が低くなったり、像面湾曲の影響で周辺あるいは中心付近が見えなくなったりするなど、観察に使用可能な視野が制限されてしまうなどの問題があった。
25

【0005】 本発明は、以上の問題点を解決するためになされたものであり、固浸レンズを用いて試料の像を良好に観察することが可能な試料観察方法、及び固浸レンズを提供することを目的とする。

5 【0006】 このような目的を達成するために、本発明による固浸レンズを用いた試料観察方法は、屈折率 n_L の材質により曲率半径 R_L の球面状の光学面を有して形成された固浸レンズを用い、固浸レンズによる幾何学的収差特性が所定の条件を満たすように設定された係数 k ($0 < k < 1$) により、光学面の球心から光軸に沿って $k \times (R_L / n_L)$ だけ下流側にある点を含み光軸に略直交する面を試料観察面として、固浸レンズを用いた試料の観察を行うことを特徴とする。

10 【0007】 上記した試料観察方法においては、球心を含む面を試料観察面とする半球形状に対応した構成、あるいは、球心から光軸に沿って R_L / n_L だけ下流側にある点を含む面を試料観察面とする超半球形状に対応した構成を用いず、固浸レンズによる幾何学的収差特性を評価することによって係数 k を設定する。そして、その係数 k によって決められる点を含む面を試料観察面として、試料の
15 観察を行っている。これにより、観察に使用可能な視野を広くして、固浸レンズを用いて試料の像を良好に観察することが可能となる。

【0008】 ここで、固浸レンズによる幾何学的収差特性の評価については、固浸レンズの後側焦点面を瞳面とした仮想光学系を用いて幾何学的収差特性を評価し、その評価結果に基づいて係数 k を設定することが好ましい。これにより、
20 瞳面を固浸レンズの後側焦点面にすることで物側テレセントリックにすることができ、レーザスキャン等での反射光観察の実際に則した形とすることができる。実際の顕微鏡に組合せて使用する場合には、顕微鏡対物レンズの瞳位置は瞳としての機能はなくなり、固浸レンズを含んだ光学系の瞳は、固浸レンズの後側焦点位置となってしまうことがわかった。

25 【0009】 また、固浸レンズによる幾何学的収差特性を、球欠的像面、子午的像面、または球欠的像面及び子午的像面の平均像面によって評価し、その評価

結果に基づいて係数 k を設定することが好ましい。これにより、固浸レンズによる試料観察面での幾何学的収差特性を良好に設定することができる。

【0010】 また、上記試料観察方法においては、固浸レンズが、光軸に沿った厚さが $d_L = R_L + k \times (R_L / n_L)$ であり、試料観察面は、試料側の固浸レンズのレンズ面と一致していることとしても良い。あるいは、固浸レンズが、光軸に沿った厚さが $d_L < R_L + k \times (R_L / n_L)$ であり、試料観察面は、試料の屈折率が固浸レンズの屈折率 n_L と等しいとしたときの仮想の観察面であるとともに、試料の屈折率を n_s 、現実の観察面までの試料の厚さを t_s としたときに、固浸レンズの厚さは、頂点から仮想の観察面までの光軸に沿った距離 $L = R_L + k \times (R_L / n_L)$ に対して、 $d_L = L - t_s \times (n_L / n_s)$ を満たすこととしても良い。

【0011】 また、本発明による固浸レンズは、屈折率 n_L の材質により曲率半径 R_L の球面状の光学面を有して形成され、観察対象となる試料の屈折率が固浸レンズの屈折率 n_L と等しいとしたときの仮想の観察面までの頂点からの光軸に沿った距離が、幾何学的収差特性が所定の条件を満たすように設定された係数 k ($0 < k < 1$) により、 $L = R_L + k \times (R_L / n_L)$ とされるときに、試料の屈折率を n_s 、現実の観察面までの試料の厚さを t_s としたときに、光軸に沿った厚さが $d_L = L - t_s \times (n_L / n_s)$ を満たすことを特徴とする。

【0012】 上記した固浸レンズにおいては、固浸レンズによる幾何学的収差特性を評価することによって設定された係数 k を用いるとともに、観察対象となる基板などの試料の屈折率 n_s 及び厚さ t_s を考慮してレンズ形状を設定している。これにより、上記したように観察に使用可能な視野を広くしつつ、試料における所望の観察部位を良好に観察することが可能となる。

【0013】 上述した試料観察方法及び固浸レンズでは、係数 k は、 $0.5 < k < 0.7$ の範囲内の値であることが好ましい。このとき、固浸レンズによる像面特性が実質的にフラットとなる条件での観察が可能となる。

【0014】 あるいは、係数 k は、 $0 < k \leq 0.5$ の範囲内の値であることが

好ましい。このとき、固浸レンズによる色収差、球面収差が実質的に低減された条件での観察が可能となる。

図面の簡単な説明

【0015】 図1は、従来の固浸レンズの構成及び使用条件の一例を示す図である。

【0016】 図2は、従来の固浸レンズの構成及び使用条件の他の例を示す図である。

【0017】 図3は、本発明による試料観察方法に用いられる固浸レンズの構成及び使用条件について示す図である。

【0018】 図4は、図3に示した固浸レンズによる幾何学的収差特性及び色収差特性を評価するために用いられる仮想光学系を示す図である。

【0019】 図5は、図4に示した仮想光学系を用いて評価された固浸レンズの特性を示すグラフである。

【0020】 図6は、本発明による試料観察方法に用いられる固浸レンズの構成及び使用条件の他の例について示す図である。

【0021】 図7は、本発明による固浸レンズ及び試料観察方法の他の実施形態を示す図である。

【0022】 図8は、試料の厚さとSILの厚さとの相関の一例を示すグラフである。

【0023】 図9A及び図9Bは、(A)係数 k が小さい場合の光の集束、及び(B)係数 k が大きい場合の光の集束について示す側面図である。

【0024】 図10は、SILでの係数 k の値と対物レンズで必要とされる開口数NAとの相関の一例を示すグラフである。

【0025】 図11は、SIL+試料の厚さとSILでの光軸上の到達NAとの相関の一例を示すグラフである。

【0026】 図12は、対物レンズの構成を示す側面断面図である。

好適な実施形態の説明

【0027】 以下、図面とともに本発明による固浸レンズ、及びそれを用いた試料観察方法の好適な実施形態について詳細に説明する。なお、図面の説明においては同一要素には同一符号を付し、重複する説明を省略する。また、図面の寸法比率は、説明のものと必ずしも一致していない。

【0028】 まず、本発明による固浸レンズ（SIL）を用いた試料観察方法の概略について、従来用いられているSILの構成及び使用条件とともに説明する。

【0029】 図1は、従来のSILの構成及び使用条件の一例を示す図である。図1に示すSIL 8は、屈折率 n 、曲率半径 R の半球形状を有するレンズである。このようなSIL 8では球心が焦点となっており、その球心を含む面が試料観察面80に設定される。また、試料観察における開口数NA及び倍率はともに n 倍となる。このような構成においてSIL 8の像面特性を考えると、図1に示すように、焦点から離れるにしたがって像面が下流側にずれる像面湾曲が生じる。

【0030】 図2は、従来のSILの構成及び使用条件の他の例を示す図である。図2に示すSIL 9は、屈折率 n 、曲率半径 R の超半球形状を有するレンズである。このようなSIL 9では球心から光軸に沿って R/n だけ下流側にある点が焦点となっており、その点を含む面が試料観察面90に設定される。また、試料観察における開口数NA及び倍率はともに n^2 倍となる。このような構成においてSIL 9の像面特性を考えると、図2に示すように焦点から離れるにしたがって像面が上流側にずれる図1とは逆方向の像面湾曲が生じる。

【0031】 本願発明者は、SILを用いた試料観察におけるこのような像面湾曲の発生について詳細に検討した結果、上記した構成で焦点とされている球心と、球心から光軸に沿って R/n だけ下流側にある点との間では、倍率が n 倍と n^2 倍との間で変化するとともに、その像面湾曲も、図1及び図2に示した逆方向の像面湾曲の間で変化していくことを見出した。本発明によるSILを用いた

試料観察方法は、このような知見に基づき、イメージングに適した構成及び使用条件でS I Lを用いて試料の像の観察を行うものである。

【0032】 図3は、本発明による試料観察方法、及びそれに用いられる固浸レンズの一実施形態の構成及び使用条件について示す図である。本試料観察方法
5 においては、観察対象となる試料2に対し、試料2からの光像を拡大するレンズとして、屈折率 n_L の材質によって形成されたS I L 1を用いている。このS I L 1は、軸A xを光軸とし、点Cを球心とした曲率半径 R_L の球面状の光学面10をレンズ面として形成されている。

【0033】 このようなS I L 1を用いた試料観察において、球面状のレンズ
10 面10の球心Cから光軸A xに沿って $k \times (R_L / n_L)$ だけ下流側にある点を焦点とする。そして、この焦点を含み光軸A xに略直交する面20を試料観察面として、S I L 1を用いた試料の観察を行う。

【0034】 ここで、S I L 1による焦点及び試料観察面20の球心Cからみた位置を決める上記した係数kは、 $0 < k < 1$ の範囲内において設定される係数
15 である。したがって、この焦点の位置は、球心Cと、球心Cから光軸に沿って R_L / n_L だけ下流側にある点との間の位置となっている。特に、この係数kは、S I L 1による幾何学的収差特性が所定の条件を満たすように設定される。

【0035】 すなわち、上述したように、球心Cと、球心Cから光軸A xに沿って R_L / n_L だけ下流側にある点との間では、倍率及び像面湾曲が順次変化して
20 いく。このような特性の変化に対し、S I L 1による幾何学的収差特性及びその変化等を評価し、その評価結果に基づいて適切な係数kの設定、及びそれによる焦点の選択を行う。そして、その係数kによって決められる点を含む面を試料観察面20として、試料2の像の観察を行う。このとき、像面湾曲を小さくし、かつ、収差の劣化を十分に小さく抑えた条件でS I L 1を使用することができる。
25 これにより、観察に使用可能な視野を広くして、S I L 1を用いて試料2の像を良好に観察することが可能となる。

【0036】 なお、図3に示す例では、係数 k によって決まる試料観察面20が、試料2側にあるSIL1の平面状のレンズ面と一致している。また、このとき、SIL1の頂点から試料2側のレンズ面までの距離、すなわちSIL1の光軸Axに沿った厚さは、 $d_L = R_L + k \times (R_L / n_L)$ となっている。

5 【0037】 以下、SIL1を用いた試料の像の観察における収差及び像面特性の評価方法、及びSIL1の好適な構成、使用条件等について、図4及び図5を用いて具体的に説明する。図4は、図3に示したSILによる幾何学的収差特性及び色収差特性を評価するために用いられる仮想光学系を示す図である。また、
10 図5は、図4に示した仮想光学系を用いて評価されたSILの特性を示すグラフである。

【0038】 ここで、図4において、 n は屈折率、 s は物体面から主平面までの距離、 h は光線の高さを示す。また、上付きバーは、主光線に関する量を表す。ただし、明細書中においては、例えば「 h_1 」に上付きバーを付したものを「 h_1 」などのように表記する。

15 【0039】 まず、SILによる像面特性を評価する仮想光学系について説明する。ここでは、図4に示すように、SIL1の材質としてシリコン(Si)を想定し、その屈折率を $n_3 = n_L = 3.5$ とする。また、屈折率 n_3 のSIL1の内部以外の領域については、屈折率を $n_1 = n_2 = 1$ とする。また、球心Cを中心とした球面状に形成されたレンズ面10については、その曲率半径を $r_2 = R_L =$
20 1とする。

【0040】 このようなSIL1に対し、その収差及び像面特性を評価するため、SIL1の後側焦点面を瞳面とした仮想光学系を導入する。具体的には、図4に示すように、無収差の仮想対物レンズ3を導入し、SIL1の後側焦点Fに配置する。SIL1のレンズ面10の面頂と、後側焦点Fとの間の距離 s_1 は $s_1 = r_2 / (n_3 - n_2)$ により求まり、 $n_3 = 3.5$ の上記した例では $s_1 = 0.4 \times R_L = 0.4$ となる。

25

【0041】 また、この無収差の仮想対物レンズ3の焦点距離を f_i とし、前側焦点位置を F' とする。 $SIL1$ の厚さ s_2' は、仮想対物レンズ3から $u_1=0$ 、 h_1 で出た光が、レンズ面10によって結ぶ焦点位置からレンズ面10の面頂までの距離とする。このような仮想対物レンズ3を導入した仮想光学系を用いて $SIL1$ の評価を行うことにより、光学系全体の入射瞳は、レンズ面10から $s_1=0.4 \times R_L$ だけ離れた位置にある仮想対物レンズ3上に設定される。また、このように入射瞳等を設定することにより、 $SIL1$ の内部でテレセントリックとなり、レーザスキャンによる反射光観察のような実際の観察系に則した形とすることができる。これにより、 $SIL1$ による収差及び像面特性を適切に評価することができる。

【0042】 図4には、上記した $SIL1$ 及び仮想対物レンズ3による光学系の構成と合わせて、2つの光線 l_1 、 l_2 を図示している。これらのうち、光線 l_1 は、光軸 Ax とのなす角が $u_1=0$ 、光線の高さが仮想対物レンズ3において h_1 、 $SIL1$ のレンズ面10において h_2 であり、仮想対物レンズ3よりも上流側で光軸 Ax に平行な光線となっている。また、この光線 l_1 は、試料観察面20に相当する面 S' において光軸 Ax 上の点を通っている。また、光線 l_1 について点線で示した $SIL1$ がない場合の光線は、仮想対物レンズ3による焦点面 S において光軸 Ax 上の点 F' を通っている。

【0043】 また、光線 l_2 は、光軸 Ax とのなす角が u_1^- 、光線の高さが仮想対物レンズ3において $h_1^-=0$ 、 $SIL1$ のレンズ面10において h_2^- であって、レンズ面10よりも下流側で光軸 Ax に平行な光線となっている。また、この光線 l_2 は、仮想対物レンズ3において光軸 Ax 上の点 F を通り、試料観察面 S' において光軸 Ax との距離が Y' となっている。また、光線 l_2 について点線で示した $SIL1$ がない場合の光線は、焦点面 S において光軸 Ax との距離が Y となっている。

【0044】 また、 $SIL1$ のレンズ面10の面頂から焦点面 S までの距離を

s_2 、試料観察面 S' までの距離、すなわち SIL の厚さを $s_2' = d_L$ とする。
 以上の構成及び条件を有する図4の仮想光学系において、 SIL の球面収差係
 数 I 、コマ収差係数 II 、非点収差係数 III 、ペッツバール和 P 、球欠的像面の湾曲
 $III + P$ 、及び子午的像面の湾曲 $3III + P$ の各収差係数を SIL の厚さ d_L で
 5 表すと、それぞれ以下の式 (1) ~ (6) のように求められる。

$$I = h_2^4 \cdot Q_2^2 \cdot \Delta(1/n_L s)_2 = (d_L/1.4)^4 \cdot \{4.9(d_L - 1)/d_L\}^2 \cdot (3.5 - 4.5/d_L) \\ = 6.25(d_L - 1)^2 (3.5d_L - 4.5)d_L \quad \dots(1)$$

$$II = J_2 \cdot I = 2.5(d_L - 1)(3.5d_L - 4.5)d_L \quad \dots(2)$$

$$III = J_2 \cdot II = (3.5d_L - 4.5)d_L \quad \dots(3)$$

$$P = p = (1/n_2 - 1/n_3)/r_2 = 1 \quad \dots(4)$$

$$III + P = 1 + (3.5d_L - 4.5)d_L \quad \dots(5)$$

$$3III + P = 1 + 3(3.5d_L - 4.5)d_L \quad \dots(6)$$

【0045】 ここで、 Q_2 はアッベの不変量である。また、 Q_2 及び J_2 は、以
 下の式で表される。

$$Q_2 = n_2(1/r_2 - 1/s_2) = 4.9(d_L - 1)/d_L$$

$$J_2 = \overline{Q_2} \overline{h_2} / Q_2 h_2$$

10 【0046】 また、ペッツバール像面、球欠的像面、及び子午的像面の曲率（実
 寸）は、それぞれ以下のようになる。

$$-P/f_i = -0.7143 \text{ (1/mm)} = \text{一定} \quad \dots \text{ペッツバール像面}$$

$$-\{1 + (3.5d_L - 4.5)d_L\}/1.4 \text{ (1/mm)} \quad \dots \text{球欠的像面}$$

$$-\{1 + 3(3.5d_L - 4.5)d_L\}/1.4 \text{ (1/mm)} \quad \dots \text{子午的像面}$$

15 【0047】 図5に、上記の式によってそれぞれ求めた球面収差係数 I 、コマ
 収差係数 II 、非点収差係数 III 、球欠的像面の湾曲 $III + P$ 、及び子午的像面の湾
 曲 $3III + P$ の各収差係数と、球欠的像面及び子午的像面の平均像面とのグラフを
 示す。このグラフにおいて、横軸は SIL の厚さ $s_2' = d_L$ を示し、縦軸は各収
 差係数の値を示している。また、この横軸に示す厚さ d_L と、図3に示した係数
 k とは、図4において $R_L = 1$ としていることにより、 $k = n_L \times (d_L - 1) =$

3. $5 \times (d_L - 1)$ の関係を有している。

【0048】 図5に示す各グラフより、球心を含む面を試料観察面とした場合（図1参照）に対応する $d_L = R_L = 1$ の点、及び、球心から光軸に沿って R_L / n_L だけ下流側にある点を含む面を試料観察面とした場合（図2参照）に対応する $d_L = R_L + R_L / n_L = 1.286$ の点では、それぞれ球面収差係数I及びコマ収差係数IIがともに零となっており、アプラナティック条件を満たしている。しかしながら、これらの点では、上記したように像面湾曲が生じている。なお、 $d_L = 1$ の点では、球欠的像面の湾曲 $III + P$ も零となっている。また、 $d_L = 1.286$ の点では、非点収差係数IIIも零となっている。

10 【0049】 これに対して、球欠的像面及び子午的像面の平均像面についてみると、 $d_L = R_L + k (R_L / n_L) = 1.163 \times R_L = 1.163$ の点において、像面がフラットになっていることがわかる。すなわち、像面がフラットで視野が広く取れる条件である、平均像面が光軸に垂直な平面となる条件を満たすためには、像面の湾曲が $III + P = -(3III + P)$ となれば良い。この条件から、上記した各式より $d_L = 1.163$ が得られる。また、このとき、試料観察面に対して設定される係数 k は、約0.6 ($k = 0.57$) と求められる。このように求められた係数 k を適用した構成及び使用条件でSIL1を用いて試料観察を行うことにより、広い視野で、良好な試料の像を取得することが可能となる。

15 【0050】 なお、SILの外側でテレセントリックとなる通常の入射瞳位置の条件で計算を行った場合、平均像面がフラットとなるのはSILの厚さが $1.274 \times R_L$ の点となり、上記した結果とは全く異なる計算結果となっている。

20 【0051】 本発明による固浸レンズ、及びそれを用いた試料観察方法は、上記した実施形態に限られるものではなく、様々な変形が可能である。例えば、上記した例では、SILの材質の例としてシリコンを挙げているが、シリコン以外にも、適用する試料の材質や観察条件等に応じて様々な材質を用いて良い。

25 【0052】 また、上記した例では、SILの屈折率を3.5＝一定としてい

る。これは、単一波長での試料観察の場合、または波長による屈折率変化が無視できる場合に対応している。したがって、上記のように k を0.6近傍とする条件は、単一波長の光によって試料に対して観察、検査等を行う場合に有効である。

【0053】 これに対して、例えば750nm～1050nmの波長幅で観察を行う場合など、観察の波長幅が広い発光観察等においては、シリコンからなるSILでは、 k を0.3程度とすることにより、色収差とその他の収差とがバランスする。このように、必要があれば、観察を行う波長幅を考慮して像面特性の評価及び係数 k の設定等を行うことが好ましい。

【0054】 また、係数 k については、上記した例では、平均像面がフラットになる点によって係数 k を設定している。これにより、SILによる試料観察面での像面特性を良好に設定することができる。ただし、この係数 k の設定については、平均像面がフラットになる点の近傍で所定の条件範囲内にある点によって設定する方法を用いても良い。あるいは、平均像面ではなく、球欠的像面、または子午的像面がフラットになる点によって係数 k を設定しても良い。

【0055】 また、試料に対するSILの設置方法については、図3では試料2の表面が試料観察面20となっている構成を示したが、このような構成に限られない。図6は、本発明による試料観察方法に用いられる固浸レンズの構成及び使用条件の他の例について示す図である。この例では、試料であるシリコン基板2に対して、同じくシリコンからなるSIL1を適用するとともに、基板2の裏面が試料観察面20となっている。

【0056】 このような構成では、シリコン基板2の所定部分がSIL1の下流側部分として機能することによって、表面を試料観察面20とする場合と同様に、試料の像を観察することができる。このような観察方法は、例えば、半導体デバイスを裏面観察によって検査するような場合に適用することができる。

【0057】 本発明による固浸レンズ、及びそれを用いた試料観察方法についてさらに説明する。

【0058】 図7は、本発明による固浸レンズ及び試料観察方法の他の実施形態を示す図である。本試料観察方法においては、観察対象となる試料7（例えば半導体デバイス）に対し、試料7からの光像を拡大するレンズとして、屈折率 n_L の材質によって形成されたSIL6を用いている。このSIL6は、軸Axを光軸とし、点Cを球心とした曲率半径 R_L の球面状の光学面60をレンズ面として形成されている。なお、本実施形態においても、係数 k の設定については図3の実施形態と同様である。

【0059】 図7では、試料7において、そのSIL6とは反対側の面が観察面71（例えば半導体デバイスのデバイス面）とされている。また、この試料7に対し、SIL6は、その試料7側で平面状のレンズ面が試料7の裏面72に密着するように配置されている。ここで、試料7の屈折率を n_s 、試料7の厚さを t_s とする。この厚さ t_s は、裏面72からSIL6による現実の観察面である観察面71までの光軸Axに沿った試料7の厚さである。

【0060】 このような構成において、試料7の観察面71に焦点を合わせるため、SIL6の光軸Axに沿った厚さは、 $d_L < R_L + k \times (R_L / n_L)$ となっている。また、図3に関して上述した、レンズ面60の球心Cから光軸Axに沿って $k \times (R_L / n_L)$ だけ下流側にある点を含み光軸Axに略直交する試料観察面70（ $0 < k < 1$ ）は、試料7の屈折率がSIL6の屈折率 n_L と等しいとしたときの仮想の観察面（SIL6のレンズ形状から求められる見かけ上の観察面）となっている。

【0061】 ここで、SIL6の頂点から仮想の観察面70までの光軸Axに沿った距離を、図7に示すように $L = R_L + k \times (R_L / n_L)$ とする。この距離 L は、SIL6のレンズ面60の形状から求めた焦点距離に対応する。また、このとき、SIL6の厚さは、 $d_L = L - t_s \times (n_L / n_s)$ を満たすように設定されている。なお、図7中では、SIL6及び試料7を通して現実の観察面71へと集束する光路を実線によって示している。また、試料7の屈折率がSIL6と

等しいと仮定した場合で仮想の観察面 70 へと集束する光路を点線によって示している。

【0062】 本実施形態による厚さを $d_L = L - t_s \times (n_L / n_s)$ とした S I L 6、及びそれを用いた試料観察方法においては、S I L 6 による幾何学的収差特性を評価することによって設定された係数 k を用いるとともに、観察対象となる試料 7 の屈折率 n_s 及び厚さ t_s を考慮して S I L 6 のレンズ形状を設定している。これにより、上記したように観察に使用可能な視野を広くしつつ、かつ、試料 7 における所望の観察部位を良好に観察することが可能となる。ここで、係数 k の選択については、図 3 に示した実施形態と同様である。また、厚さ t_s については、図 7 では試料 7 の S I L 6 とは反対側の面が観察面 71 となっているため、試料 7 の厚さ t_s がそのまま用いられているが、観察面が試料 7 の内部に設定された場合には、その観察面までの試料の厚さを t_s とすれば良い。

【0063】 図 8 は、試料の厚さと S I L の厚さとの相関の一例を示すグラフである。このグラフにおいて、横軸は試料 7 の厚さ t_s (mm) を示し、縦軸は S I L 6 の厚さ d_L (mm) を示している。このグラフでは、S I L 6 の屈折率を $n_L = 3.1$ (材質 G a P)、試料 7 の屈折率を $n_s = 3.5$ (材質 S i)、S I L 6 の曲率半径を $R_L = 0.5$ mm としている。また、グラフ A 1 は係数 $k = 0.80$ 、A 2 は $k = 0.60$ 、A 3 は $k = 0.40$ 、A 4 は $k = 0.20$ としたときの相関を示している。S I L 6 の厚さ d_L は、それぞれの材質や係数 k の値等に応じ、図 8 のグラフに示す例のように設定される。

【0064】 次に、上記した固浸レンズ及び試料観察方法における係数 k の設定について検討する。一般に、観察の視野を広く取りたいなどの場合、係数 k は、上記した $k = 0.6$ の例のように、 $0.5 < k < 0.7$ の範囲内の値であることが好ましい。このとき、固浸レンズによる像面特性が実質的にフラットとなる条件での観察が可能となる。例えば、単色レーザからのレーザ光を用いた観察の場合には、色収差の問題がなく、視野を広くするように係数 k を設定することがで

きる。

【0065】 一方、固浸レンズでの球面収差や色収差を考慮しなければならない場合、係数 k は、上記した $k=0.3$ の例のように、 $0 < k \leq 0.5$ の範囲内の値であることが好ましい。このとき、固浸レンズによる球面収差、色収差が実質的に低減された条件での観察が可能となる。このような係数 k の好適な範囲については、図3に示した構成、及び図7に示した構成のいずれにおいても同様である。

【0066】 ここで、図9A及び図9Bは、(A)係数 k が小さい場合の光の集束、及び(B)係数 k が大きい場合の光の集束について示す側面図である。これらの図9A及び図9Bに示すように、係数 k を小さく設定した場合、例えば、上記した $0 < k \leq 0.5$ の範囲内で k を設定した場合には、係数 k が大きい場合に比べてSILからみた光の光路が広がることになる。このような場合には、SILに組み合わされる対物レンズとして、開口数NAが大きいものを選択することが好ましい。

【0067】 図10は、SILでの係数 k の値と対物レンズで必要とされる開口数NAとの相関の一例を示すグラフである。このグラフにおいて、横軸はSILで設定された係数 k を示し、縦軸は対物レンズの開口数NAを示している。このグラフでは、SILの屈折率を $n_L=3.5$ （材質Si）としている。また、グラフB1はSILでの光軸上の到達NAを3.0としたときの対物レンズの必要NA、B2はSILでの光軸上の到達NAを2.5としたときの対物レンズの必要NAを示している。また、このグラフでは、係数 k の値に対応するSILでの倍率を、グラフB6によって合わせて示している。

【0068】 これらのグラフB1、B2に示すように、SILでの到達NAを大きくすると、対物レンズの必要NAもそれに伴って大きくなる。また、SILでの到達NAを一定とした場合には、図9A及び図9Bに関して上述したように、係数 k の値が小さくなると対物レンズで必要とされるNAが大きくなる。したが

って、S I Lでの係数 k の値を設定する際には、対物レンズとの組合せについても考慮する必要がある。

【0069】 また、図11は、S I L+試料の厚さとS I Lでの光軸上の到達NAとの相関の一例を示すグラフである。このグラフにおいて、横軸はS I L+試料（S i基板）のS I Lの頂点からの厚さ（mm）を示し、縦軸はS I Lでの光軸上の到達NAを示している。このグラフでは、S I Lの曲率半径を $R_L = 0.5$ mm、対物レンズのNAを0.76としている。また、グラフC1はS I Lの材質をS iとしたときの到達NA、C2はS I Lの材質をG a Pとしたときの到達NAを示している。このように、対物レンズのNAを一定とした場合、S I L+試料の厚さが大きくなるに伴って到達NAが大きくなる。

【0070】 実際には、S I L及び対物レンズのNAは、具体的な構成に応じて適宜選択すれば良いが、例えばS I Lの到達NAは2.5～3.0程度、対物レンズのNAは0.76程度である。また、対物レンズとしては通常の対物レンズを用いることができ、その倍率は、例えば50倍程度である。

【0071】 また、色収差が低減されるように、上記した $0 < k \leq 0.5$ の範囲内で k を設定した場合、その幾何学的収差特性については対物レンズ側で補正可能な構成とすることが好ましい。このような対物レンズとしては、図12の側面断面図に示す構成の対物レンズがある。この対物レンズ5は、そのレンズ群が、光軸に沿って配置された第1レンズ群51及び第2レンズ群52の2つのレンズ群によって構成されている。また、これらのレンズ群51、52の間隔 u は、対物レンズ5の外周部に設けられる補正環（図示していない）を回転させることによって変化させることが可能となっている。このような構成の対物レンズ5を用いることにより、対物レンズ5側で幾何学的収差特性（例えば球面収差）を補正することができる。

【0072】 なお、このように補正環付の対物レンズをS I Lと組合せて用いる場合には、S I Lでの球面収差が対物レンズでの補正環によって補正可能な範

5 囲で係数 k を設定することが好ましい。例えば、図12の構成の対物レンズでは、
SILの屈折率を $n_L = 3.1$ 、曲率半径を $R_L = 0.5\text{ mm}$ 、試料の屈折率を $n_s = 3.5$ としたとき、試料の厚さが $t_s = 0.03\text{ mm}$ 程度であれば $0 < k < 0.4$ 程度、 $t_s = 0.15\text{ mm}$ 程度であれば $0 < k < 0.2$ 程度の条件で、補正環
による球面収差の補正が可能である。

【0073】 また、 $0.7 \leq k < 1$ の範囲内で係数 k を設定しても良い。この
場合、低NAの対物レンズと組み合わせることができる。ただし、通常の対物レ
ンズでは大きな色収差が発生するため、単色レーザー光以外の用途では専用に設計
された対物レンズを用いる必要がある。

10 【0074】 本発明による固浸レンズ(SIL)、及びそれを用いた試料観察方
法は、固浸レンズを用いて試料の像を良好に観察することが可能な試料観察方法、
及び固浸レンズとして利用可能である。すなわち、固浸レンズによる幾何学的収
差特性を評価して所定の条件を満たすように係数 k ($0 < k < 1$)を設定し、固
浸レンズの球面状の光学面の球心から光軸に沿って $k \times (R_L / n_L)$ だけ下流側
15 にある点を含み光軸に略直交する面を試料観察面とする固浸レンズ及び観察方法
によれば、観察に使用可能な視野を広くして、固浸レンズを用いて試料の像を良
好に観察することが可能となる。また、試料の屈折率 n_s 及び厚さ t_s を考慮して
レンズ形状を設定した場合、試料における所望の観察部位を良好に観察すること
が可能となる。

請求の範囲

1. 屈折率 n_L の材質により曲率半径 R_L の球面状の光学面を有して形成された固浸レンズを用い、

5 前記固浸レンズによる幾何学的収差特性が所定の条件を満たすように設定された係数 k ($0 < k < 1$) により、前記光学面の球心から光軸に沿って $k \times (R_L / n_L)$ だけ下流側にある点を含み前記光軸に略直交する面を試料観察面として、前記固浸レンズを用いた試料の観察を行うことを特徴とする試料観察方法。

10 2. 前記固浸レンズは、前記光軸に沿った厚さが $d_L = R_L + k \times (R_L / n_L)$ であり、前記試料観察面は、前記試料側の前記固浸レンズのレンズ面と一致していることを特徴とする請求項 1 記載の試料観察方法。

3. 前記固浸レンズは、前記光軸に沿った厚さが $d_L < R_L + k \times (R_L / n_L)$ であり、前記試料観察面は、前記試料の屈折率が前記固浸レンズの屈折率 n_L と等しいとしたときの仮想の観察面であるとともに、

15 前記試料の屈折率を n_s 、現実の観察面までの前記試料の厚さを t_s としたときに、前記固浸レンズの厚さは、頂点から前記仮想の観察面までの光軸に沿った距離 $L = R_L + k \times (R_L / n_L)$ に対して、 $d_L = L - t_s \times (n_L / n_s)$ を満たすことを特徴とする請求項 1 記載の試料観察方法。

20 4. 前記固浸レンズの後側焦点面を瞳面とした仮想光学系を用いて前記幾何学的収差特性を評価し、その評価結果に基づいて前記係数 k を設定することを特徴とする請求項 1 記載の試料観察方法。

5. 前記固浸レンズによる前記幾何学的収差特性を、球欠的像面、子午的像面、または球欠的像面及び子午的像面の平均像面によって評価し、その評価結果に基づいて前記係数 k を設定することを特徴とする請求項 1 記載の試料観察方法。

25 6. 前記係数 k は、 $0.5 < k < 0.7$ の範囲内の値であることを特徴とする請求項 1 記載の試料観察方法。

7. 前記係数 k は、 $0 < k \leq 0.5$ の範囲内の値であることを特徴とする請求項 1 記載の試料観察方法。

5 8. 屈折率 n_L の材質により曲率半径 R_L の球面状の光学面を有して形成され、観察対象となる試料の屈折率が屈折率 n_L と等しいとしたときの仮想の観察面までの頂点からの光軸に沿った距離が、幾何学的収差特性が所定の条件を満たすように設定された係数 k ($0 < k < 1$) により $L = R_L + k \times (R_L / n_L)$ とされるときに、

10 前記試料の屈折率を n_s 、現実の観察面までの前記試料の厚さを t_s としたときに、前記光軸に沿った厚さが $d_L = L - t_s \times (n_L / n_s)$ を満たすことを特徴とする固浸レンズ。

9. 前記係数 k は、 $0.5 < k < 0.7$ の範囲内の値であることを特徴とする請求項 8 記載の固浸レンズ。

15 10. 前記係数 k は、 $0 < k \leq 0.5$ の範囲内の値であることを特徴とする請求項 8 記載の固浸レンズ。

要約書

屈折率 n_L の材質により曲率半径 R_L の球面状のレンズ面 10 を有して形成された固浸レンズ (SIL) 1 を用いて試料 2 の像を観察する。この試料観察において、SIL 1 による幾何学的収差特性を所定の光学系を用いて評価する。そして、その平均像面がフラットになる条件や、色収差特性が良好となる条件を満たすように設定された係数 k ($0 < k < 1$) により、レンズ面 10 の球心 C から光軸 Ax に沿って $k \times (R_L / n_L)$ だけ下流側にある点を含み光軸 Ax に直交する面を試料観察面 20 として、SIL 1 を用いた試料の観察を行う。これにより、固浸レンズを用いて試料の像を良好に観察することが可能な試料観察方法、及び固浸レンズが実現される。